

Indicator 11.4.7

โครงการวิจัย การศึกษาผลกระทบด้านการรับกำลังอัดและมลพิษสำหรับคอนกรีตสีเขียว ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว โดยรองศาสตราจารย์ ดร. จรัล รัตนโชตินันท์ คณะวิทยาศาสตร์ ได้ดำเนินการวิจัยการศึกษาการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตสีเขียวผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วเพื่องานก่อสร้าง โดยนำอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วมาผสมกับส่วนผสมแบบปกติ การเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติที่ไม่มีส่วนผสมของอีพีเอสโฟม และการประเมินต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว การทดสอบความสามารถรับกำลังอัดระหว่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสมขวดน้ำพลาสติกทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนในอัตราส่วนต่างๆ และบริการชุมชนจากงานวิจัยในชุมชนมินิบุรีอุบลรัตน์ เขตมินิบุรี



คอนกรีตแบบปกติ



คอนกรีตที่ผสมESP 0.1%



คอนกรีตที่ผสม ESP 0.2%



คอนกรีตที่ผสม ESP 0.3%



คอนกรีตที่ผสม ESP 0.4%



คอนกรีตที่ผสม ESP 0.5%



คอนกรีตที่ผสม ESP 0.6%



คอนกรีตที่ผสม ESP 0.7%

การศึกษาผลกระทบด้านการรับกำลังอัดและมลพิษสำหรับคอนกรีตสีเขียวผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว

The effective study of compressive strength and pollution for green concrete mixed with used EPS foam

จรัล รัตนโชตินันท์^{1*}

Jaran Ratanachotinun^{1*}

รับบทความ 21 กันยายน 2566/ ปรับแก้ไข 1 ธันวาคม 2566/ ตอรับบทความ 22 ธันวาคม 2566

Received: September 21, 2023/ Revised: December 1, 2023/ Accepted: December 22, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการรับกำลังอัดและมลพิษของคอนกรีตสีเขียวผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วเพื่องานก่อสร้าง โดยนำอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วมาผสมกับส่วนผสมแบบปกติ การเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติที่ไม่มีส่วนผสมของอีพีเอสโฟม และการประเมินต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว การทดสอบความสามารถรับกำลังอัดระหว่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วทดสอบมวลรวมหยาบบางส่วนในอัตราส่วน 0.1% 0.2% 0.3% 0.4% 0.5% 0.6% และ 0.7% ต่อน้ำหนักมวลรวมละเอียดและช่วงอายุการบ่มของคอนกรีตที่อายุ 7 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตสีเขียวที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าการรับกำลังอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ สัดส่วนของอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วที่เหมาะสม คือ ระดับไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดและมีค่าเฉลี่ยรับกำลังอัดประมาณ 218 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติลดลงที่ระดับเฉลี่ยร้อยละ 2 ถึง 6 ต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วโดยประมาณ 1,980 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งลดลงจากต้นทุนของคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 3 การลดปริมาณ CO₂ ที่ปลดปล่อยจากการกำจัดขยะอีพีเอสโฟมสำหรับการผสมในคอนกรีตมีค่าอยู่ที่ระดับ 0.02 ถึง 0.17 กิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

คำสำคัญ: คอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟม ต้นทุนคอนกรีต อีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว

Abstract

The purpose of this research is to study the compressive strength and pollution of green concrete that mixed with used EPS foam for construction by mixed EPS foam with typical mixing, comparing with typical concrete and assessment for cost of concrete mixed with used EPS foam. The testing of compressive strength compared with typical concrete and green concrete which mixed with EPS foam in rate of 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, 0.5%, 0.6%, and 0.7% by weight of fine aggregates and the curing age of 7,14 and 28 days. The results have shown that increased EPS foam the lower the strength compare to typical concrete. The proper percentage of EPS foam is no more than 0.3 % by weight, average strength of 218 kg/cm² and average density of green concrete is 2%-6% lower than density of typical concrete. The cost of green

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพมหานคร

¹Civil and construction management engineering, faculty of science, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok

* Corresponding Author. E-mail: jaran07@yahoo.com

การศึกษาผลกระทบด้านการรับกำลังอัดและมลพิษสำหรับคอนกรีตสีเขียวผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว

The effective study of compressive strength and pollution for green concrete mixed with used EPS foam

จรัล รัตน์โชตินันท์^{1*}

Jaran Ratanachotinun^{1*}

รับบทความ 21 กันยายน 2566/ แก้ไข 1 ธันวาคม 2566/ ตอรับบทความ 22 ธันวาคม 2566

Received: September 21, 2023/ Revised: December 1, 2023/ Accepted: December 22, 2023

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการรับกำลังอัดและมลพิษของคอนกรีตสีเขียวผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วเพื่องานก่อสร้าง โดยนำอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วมาผสมกับส่วนผสมแบบปกติ การเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติที่ไม่มีส่วนผสมของอีพีเอสโฟม และการประเมินต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว การทดสอบความสามารถรับกำลังอัดระหว่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วทดแทนมวลรวมหยาบบางส่วนในอัตราส่วน 0.1% 0.2% 0.3% 0.4% 0.5% 0.6% และ 0.7% ต่อน้ำหนักมวลรวมละเอียดและช่วงอายุการบ่มของคอนกรีตที่อายุ 7 14 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า คอนกรีตสีเขียวที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าการรับกำลังอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ สัดส่วนของอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วที่เหมาะสม คือ ระดับไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดและมีค่าเฉลี่ยรับกำลังอัดประมาณ 218 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติลดลงที่ระดับเฉลี่ยร้อยละ 2 ถึง 6 ต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วโดยประมาณ 1,980 บาทต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งลดลงจากต้นทุนของคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 3 การลดปริมาณ CO₂ ที่ปลดปล่อยจากการกำจัดขยะอีพีเอสโฟมสำหรับการผสมในคอนกรีตมีค่าอยู่ที่ระดับ 0.02 ถึง 0.17 กิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

คำสำคัญ : คอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟม ต้นทุนคอนกรีต อีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว

Abstract

The purpose of this research is to study the compressive strength and pollution of green concrete that mixed with used ESP foam for construction by mixed EPS foam with typical mixing, comparing with typical concrete and assessment for cost of concrete mixed with used ESP foam. The testing of compressive strength compared with typical concrete and green concrete which mixed with EPS foam in rate of 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4%, 0.5%, 0.6%, and 0.7% by weight of fine aggregates and the curing age of 7,14 and 28 days. The results have shown that increased EPS foam the lower the strength compare to typical concrete. The proper percentage of EPS foam is no more than 0.3 % by weight, average strength of 218 kg/cm² and average density of green concrete is 2%-6% lower than density of typical concrete. The cost of green

¹สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและบริหารงานก่อสร้าง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม กรุงเทพมหานคร

¹Civil and construction management engineering, faculty of science, Chandrakasem Rajabhat University, Bangkok

* Corresponding Author. E-mail: jaran07@yahoo.com

concrete is around 1980 baths per cubic meter which is 3% lower than typical concrete. The CO₂ reduction of EPS foam disposal processing is around 0.02-0.17 kg per 1 m³ of green concrete.

Keywords : Concrete mixed with EPS foam, Concrete cost, Used EPS foam

บทนำ

คอนกรีต เป็นวัสดุก่อสร้างหลักที่ใช้ในงานวิศวกรรมโยธาและงานโครงสร้างพื้นฐานต่างๆ เช่น อาคาร ถนน เป็นต้น องค์ประกอบของคอนกรีตประกอบไปด้วย ปูนซีเมนต์ หิน ทราย น้ำ และน้ำยาผสมคอนกรีต ต้นทุนทางด้านวัสดุที่ใช้ในการผสมคอนกรีตก็จะมีต้นทุนที่สูงขึ้นตามประสิทธิภาพในการออกแบบการรับน้ำหนักในแต่ละประเภทงานก่อสร้าง คอนกรีตสีเขียวหมายถึงคอนกรีตที่ใช้วัสดุเหลือใช้และสามารถลดมลพิษการพัฒนาวัสดุสำหรับผสมคอนกรีตสีเขียวที่ยังได้ประสิทธิภาพในการรับน้ำหนักอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ก็จะช่วยประหยัดต้นทุนของคอนกรีตก่อสร้างได้ ปัญหาขยะโฟมในประเทศไทยส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและต้นทุนการกำจัดขยะโฟม จากข้อมูลกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) สำหรับประเทศไทยมีการนำพลาสติกและโฟม มาใช้มากขึ้นในรูปแบบของบรรจุภัณฑ์ต่างๆ มากขึ้น จากสถิติ พบว่า ปี 2560 มีการบริโภคโฟมบรรจุอาหาร จำนวน 6,758 ล้านใบต่อปี ซึ่งจะเป็นขยะโฟมหลังการใช้งานและต้องมีการกำจัด ข้อมูลจากสำนักสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร (สำนักงานสิ่งแวดล้อม, 2564) มีข้อบัญญัติกรุงเทพมหานครเรื่องค่าธรรมเนียมการจัดการสิ่งปฏิกูล พ.ศ.2562 กำหนดค่าเก็บขนและกำจัดขยะโดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 600 บาทต่อลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง จึงส่งผลต่อต้นทุนการกำจัดขยะโฟมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง การกำจัดขยะอีพีเอสโฟมจะเกิดการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ (Tan and Khoo, 2005) และมีการปลดปล่อยก๊าซ CO₂ โดยประมาณเท่ากับ 0.051 และ 0.028 กิโลกรัมต่อขยะอีพีเอสโฟม 1 กิโลกรัม สำหรับการฝังกลบและการเผาขยะอีพีเอสโฟมตามลำดับ การกำจัดขยะอีพีเอสโฟมโดยผสมในคอนกรีตจะสามารถลดต้นทุนการกำจัดและก๊าซ CO₂ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาวัสดุก่อสร้างอาคารและการนำวัสดุเหลือใช้มาพัฒนาในงานก่อสร้าง การศึกษาอิฐมวลเบาที่มีรูกลวงเพื่อลดความร้อนถ่ายเทเข้าสู่อาคาร (Ratanachotinun and Pairojn, 2020) เพื่อช่วยเพิ่มความเป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับอาคารที่พักอาศัย

การศึกษาใช้เศษโฟมมาทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต (สมบูรณ์ คงศักดิ์ ศิริ, 2006) ได้นำโฟมที่เหลือใช้มาย่อยให้ได้ขนาดตามต้องการผสมกับปูนซีเมนต์ขึ้นรูปเป็นวัสดุผสมโฟมซีเมนต์ โดยตัวอย่างทดสอบนี้เป็นคอนกรีตมอร์ต้าที่ไม่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบหรือหิน ผลการทดสอบ คือ อัตราส่วนของปูนซีเมนต์:ทราย:โฟม คือ 1:0.5:3 โดยปริมาตรอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ให้ค่ากำลังอัดที่ 28 วันเท่ากับ 4.52 เมกกะปาสคาลหรือ 46.09 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และเมื่อนำโฟมซีเมนต์มาผสมคอนกรีตโดยใช้สัดส่วนผสม 1:2.2:5.3 โดยปริมาตรและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.7 ทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดที่อายุ 28 วันของคอนกรีตผสมโฟมซีเมนต์รับแรงอัดสูงสุดได้ 6.41 เมกกะปาสคาลหรือ 65.36 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โมดูลัสการแตกหักเท่ากับ 1.42 เมกกะปาสคาลหรือ 14.48 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การศึกษาอิทธิพลของขนาดเม็ดโฟมโพลีสไตรีนต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา (รมย์ธีรา จิตอารีย์ และ มงคล นามลักษณ์, 2562) ได้ศึกษาปริมาณและขนาดเม็ดโฟมโพลีสไตรีนต่อสมบัติความหนาแน่นกำลังรับแรงอัด และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมวลเบา ผลการศึกษาพบว่า การผสมเม็ดโฟมขนาดเล็กจะทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้เม็ดโฟมขนาดใหญ่ การใช้เม็ดโฟมขนาดต่างกันส่งผลต่อความหนาแน่นของคอนกรีตเพียงเล็กน้อย กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของคอนกรีตจะลดต่ำลงตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณเม็ดโฟมที่ใช้และคอนกรีตที่ผสมเม็ดโฟมจะมีค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้น การพัฒนาความสามารถรับกำลังอัดของคอนกรีตโฟมที่ผสมเม็ดเซรามิก (Wang et al., 2021) เป็นการศึกษาคอนกรีตโฟมที่ทดสอบโดยการผสมเม็ดเซรามิกเพื่อประเมินความสามารถรับกำลังอัด คอนกรีตโฟมไม่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบหรือหิน ผลการทดลอง พบว่า การรับกำลังอัดโดยเฉลี่ยระหว่าง 5.1-62.22 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามสัดส่วนผสมของคอนกรีตโฟมกับเม็ดเซรามิก การศึกษาความเป็นฉนวนกันความร้อนของอิฐบล็อกและปูนฉาบโดยการผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว (จรัสรัตนโชตินันท์ และคณะ, 2564) ได้นำอีพีเอสโฟมมาผสม

ในอิฐบล็อกและปูนฉาบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกันความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ผลการทดลองพบว่า การผสมอีพีเอสโฟมในอิฐบล็อกและปูนฉาบสำหรับก่อสร้างอาคารทั่วไปจะช่วยลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่ภายในอาคารและสัดส่วนอีพีเอสโฟมที่เหมาะสมไม่ควรเกินร้อยละ 1 ของมวลรวมละเอียด จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นก็จะพบว่าเป็นการศึกษาวัสดุที่ไม่ใช้งานแล้วผสมในคอนกรีตซึ่งยังมีความสามารถในการรับน้ำหนักไม่มากนักสำหรับงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับการใช้วัสดุเหลือใช้กับการพัฒนางานก่อสร้าง อาทิ การศึกษาคอมโพสิตซีเมนต์และคอนกรีต ผลของพารามิเตอร์การบ่มต่อการบ่ม CO₂ ของบล็อกคอนกรีตที่มีมวลรวมรีไซเคิลรวดเร็ว (Zhan et al., 2016) ศึกษาบล็อกคอนกรีตที่มีมวลรวมรีไซเคิลสำหรับงานก่อสร้าง การศึกษาวิศวกรรมความร้อนประยุกต์ การศึกษาสมบัติเชิงกลความทนทานและการประเมินวัฏจักรชีวิตของบล็อกอาคารคอนกรีตที่รวมมวลรวมคอนกรีตรีไซเคิล (Guo et al., 2018) ศึกษาความเป็นไปได้การใช้คอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล (RCAs) เพื่อผลิตคอนกรีตสำหรับงานการก่อสร้างอาคาร การวิเคราะห์วัสดุก่อสร้างและอาคารการวิจัยเชิงทดลองของบล็อกคอนกรีตปูพื้นด้วยอิฐบดและกระเบื้องรวม (Bjegovic et al., 2015) ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะสร้างแผ่นพื้นคอนกรีตสำเร็จรูปด้วยวัสดุทดแทนธรรมชาติมากกว่า 50% ด้วยวัสดุรีไซเคิลที่ทำจากดินเหนียวและกระเบื้องหลังคา การศึกษาพลังงานทดแทนการใช้ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรใหม่เป็นฉนวนกันความร้อนสำหรับตัวเก็บพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับใช้ก่อสร้างอาคาร (Bechki et al., 2019) การศึกษาการรีไซเคิลของเสียสำหรับการใช้งานที่มีมูลค่าเพิ่มในบล็อกคอนกรีต (Ling et al., 2018) การใช้ของเสียประเภทต่างๆ เช่น คอนกรีตรีไซเคิล อิฐบด อิฐโซดาไลม์ แก้วหลอด แก้วคาโทเดอเรย์ ยางครั้น เศษเซรามิกและกระเบื้องเป็นต้น มาเพิ่มความเป็นฉนวนกันความร้อนของบล็อกคอนกรีต จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาโดยภาพรวมเห็นว่ายังไม่มีมีการพัฒนาคอนกรีตสีเขียวโดยการผสมอีพีเอสโฟมอย่างง่ายเพื่อใช้งานก่อสร้างโครงสร้างที่สามารถรับน้ำหนักได้มากกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จึงเป็นที่มาของงานวิจัย งานวิจัยนี้จะศึกษาความสามารถการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตสีเขียวผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติเพื่องานก่อสร้าง และการประเมินต้นทุนของคอนกรีต

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้มีขั้นตอนในการดำเนินการดังต่อไปนี้

1. วัสดุสำหรับการสร้างตัวอย่างคอนกรีตและเครื่องมือสำหรับการทดสอบ มีรายละเอียดดังนี้

วัสดุสำหรับการสร้างตัวอย่างคอนกรีต คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland Cement Type 1) ทรายที่ฟီไอ มาตรฐาน มอก. 15 มวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดเป็นมวลรวมที่นิยมใช้และมีอยู่ในประเทศไทย น้ำเป็นน้ำประปามีคุณภาพตามมาตรฐานการประปานครหลวง อีพีเอสโฟมเป็นผลิตภัณฑ์จากตัวป้องกันการกระแทกจากการขนส่งสินค้าต่าง ๆ การย่อยแบบอย่างง่ายของอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วและมีรูปร่างเป็นเม็ดทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางโดยประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร เครื่องมือสำคัญสำหรับการทดสอบ คือ แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างทรงลูกบาศก์ 15*15*15 เซนติเมตร และเครื่องทดสอบ Compressive Testing Machine ยี่ห้อ ELE รุ่น 1796D0001 วัสดุและเครื่องมือสำคัญสามารถแสดงได้ในภาพที่ 1



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 1 อีพีเอสโฟมและเครื่องทดสอบที่สำคัญสำหรับงานวิจัย (ก) ตัวอย่างอีพีเอสโฟมขนาดประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร (ข) แบบหล่อคอนกรีตตัวอย่างทรงลูกบาศก์ (ค) เครื่อง Compressive Testing Machine

2. การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวม

การทดสอบวัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดนี้จะเป็นการหาความถ่วงจำเพาะรวม ความถ่วงจำเพาะปรากฏ และการดูดซึมน้ำ โดยค่าต่างๆนี้ใช้สำหรับอ้างอิงคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ การอบมวลรวมตัวอย่างเพื่อทดสอบจะใช้ตู้อบควบคุมอุณหภูมิที่ระดับ 110 องศาเซลเซียส การหาความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบมีมาตรฐานการทดสอบตาม ASTM C127 Standard test method for density, relative density (specific gravity), absorption aggregate การหาความถ่วงจำเพาะและค่าความดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมละเอียด โดยมีมาตรฐานการทดสอบตาม ASTM C128 Standard test method for density, relative density (specific Gravity), and absorption of fine aggregate โดยทั้ง 2 มาตรฐานใช้สำหรับอ้างอิงหาความถ่วงจำเพาะรวมและความถ่วงจำเพาะปรากฏซึ่งมีหลักการทดสอบแบบสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง และการดูดซึมน้ำของมวลรวมเป็นการหาค่าดูดซึมน้ำเข้าสู่ตัวเนื้อมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด และอ้างอิงสมการที่ใช้คำนวณค่าต่างๆ

3. การออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตสำหรับการทดสอบ

อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบพฤติกรรม

ตารางที่ 1 สัดส่วนของวัสดุผสมในคอนกรีตปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรสำหรับใช้ทดสอบกำลังอัด

ปูนซีเมนต์ (kg)	ทราย (kg)	หิน (kg)	น้ำ (kg)	EPS (%ของน้ำหนักทราย)	EPS (kg)
300	624	1296	180	0	0
300	624	1296	180	0.1	0.624
300	624	1296	180	0.2	1.248
300	624	1296	180	0.3	1.872
300	624	1296	180	0.4	2.496
300	624	1296	180	0.5	3.120
300	624	1296	180	0.6	3.744
300	624	1296	180	0.7	4.368

4. การเตรียมตัวอย่างและทดสอบการรับกำลังแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีต

การกำหนดจำนวนตัวอย่างคอนกรีตตามมาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก มท 101-2550 (สำนักชลประทานที่ 14, 2562) กำหนดไว้การทดสอบต่อชุดมีจำนวน 3 ตัวอย่าง สำหรับการเตรียมตัวอย่างเพื่อการทดสอบในงานวิจัยนี้ได้เตรียมตัวอย่างเพิ่มเป็น 4 ตัวอย่างต่อชุดเพื่อความน่าเชื่อถือของผลทดสอบ ลักษณะตัวอย่างคอนกรีตรูปลูกบาศก์ที่ใช้ใน

รับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้เพื่อการทดสอบกำลังต้านทานแรงอัดอ้างอิงจากอุทัยฤทธิ์ โรจนวิภาต (2560) โดยการคำนวณออกแบบส่วนผสมตามมาตรฐาน ACI (American Concrete Institute) เป็นการหาสัดส่วนผสมของคอนกรีตตามมาตรฐานอเมริกา งานวิจัยนี้ใช้คอนกรีตแบบปกติที่มีกำลังอัด 240 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยกำหนดปริมาตร 1:2:4 โดยใช้ปูนซีเมนต์ 1 ส่วน ทราย 2 ส่วน และหิน 4 ส่วน การคำนวณออกแบบส่วนผสมคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถได้สัดส่วนต้นแบบสำหรับการทดสอบ คือปูนซีเมนต์ เท่ากับ 300 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทราย เท่ากับ 624 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หินเท่ากับ 1,296 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และน้ำเท่ากับ 180 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การสร้างตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมจะมีสัดส่วนปริมาตรของอีพีเอสโฟมที่ถูกย่อยเป็นเม็ดและนำมาผสมในคอนกรีตร้อยละ ร้อยละ 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 โดยน้ำหนักของมวลรวมละเอียด โดยไม่มีการลดปริมาณมวลรวมละเอียด ในตารางที่ 1 การผสมอีพีเอสโฟมต้องผสมทีละส่วนเพื่อการกระจายตัวทั่วถึงในเนื้อของคอนกรีต การผสมอีพีเอสโฟมส่งผลต่อปริมาตรรวมของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นที่เล็กน้อย ต้นทุนคอนกรีตที่ลดลงจากต้นทุนการกำจัดขยะอีพีเอสโฟม

การทดสอบกำลังอัดต่อระยะเวลาการบ่มเท่ากับ 12 ตัวอย่าง การย่อยอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วสำหรับผสมในคอนกรีตจะมีรูปร่างเป็นเม็ดโฟมทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร อายุของคอนกรีตทุกกลุ่มตัวอย่างจะมีระยะเวลาการบ่มเท่ากับ 7, 14 และ 28 วันแบ่งแยกตามสัดส่วนการผสมอีพีเอสโฟม รวมตัวอย่างที่ใช้ทดสอบทั้งหมดเท่ากับ 96 ตัวอย่าง การหาน้ำหนักตัวอย่างเพื่อคำนวณความหนาแน่นของคอนกรีตการทดสอบหาการรับกำลังแรงอัดเป็นตามมาตรฐาน ASTM C 39 (Standard testing

method for compressive strength of cylindrical concrete specimens) โดยเป็นมาตรฐานของอเมริกา ค่ารับกำลังแรงอัดของคอนกรีตจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักที่กดลงกับตัวอย่างคอนกรีตต่อพื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกด การทดสอบรับกำลังแรงอัดตัวอย่างคอนกรีตแสดงผลทดสอบในแผนภูมิภาพเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตแบบปกติกับคอนกรีตที่ผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้ว

5.การวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยและสรุปผลงานวิจัย

การวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการรับกำลังของคอนกรีตที่ผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้วที่สัดส่วนการผสมต่างๆ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์เพื่อหาสัดส่วนผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้วเพื่อความเหมาะสมกับการรับกำลังในแต่ละประเภทงานก่อสร้าง ลักษณะการเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้ว การกำจัดขยะอิพิเอสโม่ซึ่งนำมาใช้ผสมลงในคอนกรีตซึ่งจะเกิดต้นทุนการกำจัดขยะและการปลดปล่อย CO₂ โดยวิเคราะห์ต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้วและความคุ้มค่าในการกำจัดอิพิเอสโม่ที่ใช้แล้วซึ่งนำมาใช้ผสมในคอนกรีตก่อสร้างแทน และการลดปริมาณ CO₂ ที่ปลดปล่อยจากการกำจัดขยะอิพิเอสโม่

ผลการวิจัย

ผลการวิเคราะห์ข้อมูลวิจัย สามารถแบ่งออกเป็นรายละเอียดดังนี้

1. คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุสำหรับการทดสอบเพื่อสร้างคอนกรีตตัวอย่างมีการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานโดยมีรายละเอียดปูนซีเมนต์เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มวลรวมละเอียดหรือทรายหยาบที่ใช้ในการทดสอบนี้มีค่า

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ขนาดคละมวลรวมละเอียด

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน (เบอร์) (นิ้ว)	น้ำหนักตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักทราย + ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักที่ค้างอยู่บนตะแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละที่ผ่านตะแกรง
4 (0.187)	1,597	1,598.30	1.30	0.26	0.26	99.74
10 (0.0787)	1,408.80	1,476.30	67.50	13.41	13.67	86.33
20 (0.0331)	1,249.50	1,394.30	144.80	28.78	42.45	57.55
50 (0.0117)	1,095.20	1,287.40	192.20	38.20	80.64	19.36
80 (0.007)	1,055.30	1,109.80	54.50	10.83	91.47	8.53
100 (0.0059)	956	969.6	13.60	2.70	94.18	5.82
200 (0.0029)	923.2	945	21.80	4.33	98.51	1.49
ถัด	1,049.10	1,056.60	7.50	1.49	100.00	0
รวม	9,334.10	9,837.30	503.2	100	FM=4.212	

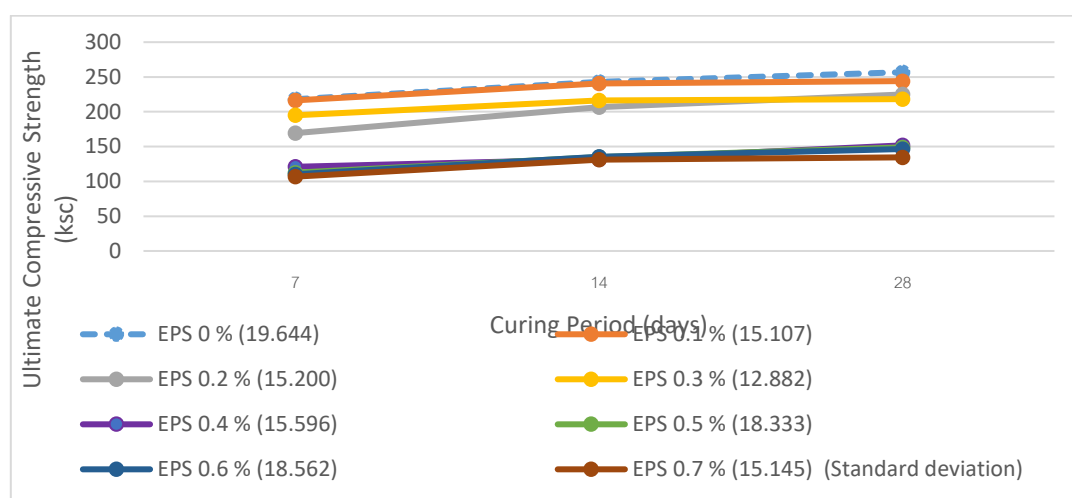
ความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ยเท่ากับ 2.62 ความถ่วงจำเพาะปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 2.71 ค่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 1.54 และขนาดคละตามแสดงในตารางที่ 2 มวลรวมหยาบหรือหินที่ใช้ในการทดสอบนี้ มีความถ่วงจำเพาะรวมเฉลี่ยเท่ากับ 2.72 ความถ่วงจำเพาะปรากฏเฉลี่ยเท่ากับ 2.79 ค่าอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 0.48 และขนาดคละตามแสดงในตารางที่ 3 โดยขนาดตะแกรงสำหรับการทดสอบเป็นมาตรฐาน ASTM C 136 และผลขนาดคละเป็นไปตามวัสดุมวลรวมทั่วไปที่นิยมใช้ในประเทศไทย อิพิเอสโม่ที่ใช้แล้วสำหรับการทดสอบ มีความหนาแน่นเท่ากับ 28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 4 การย่อยอิพิเอสโม่ได้ขนาดประมาณ 1.0-3.0 มิลลิเมตร อิพิเอสโม่ที่เป็นขยะสำหรับการขนส่งและกำจัดจะมีลักษณะที่จับตัวกันแบบหลวมเนื่องจากอิพิเอสโม่ที่ขึ้นรูปเป็นตัวกันกระแทกที่ใช้ในบรรจุภัณฑ์ จากลักษณะดังกล่าวความหนาแน่นของขยะอิพิเอสโม่จะลดลงประมาณร้อยละ 30 ของความหนาแน่นแบบปกติ (28 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) ดังนั้นความหนาแน่นของอิพิเอสโม่ที่เป็นขยะมีค่าโดยประมาณเท่ากับ 19 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยจะนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณปลดปล่อยก๊าซ CO₂

2. ผลการทดสอบคุณสมบัติการรับกำลังแรงอัด

การทดสอบการรับกำลังแรงอัด (Ultimate Compressive Strength) ของคอนกรีตแบบปกติที่ไม่ผสมอิพิเอสโม่และคอนกรีตตัวอย่างที่ผสมอิพิเอสโม่ได้ทำการทดสอบในช่วงอายุการบ่มคอนกรีต (Curing Period) ที่อายุ 7 , 14 และ 28 วัน และแบ่งแยกสัดส่วนผสมอิพิเอสโม่ในอัตราส่วนร้อยละ 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 ต่อน้ำหนักมวลรวมละเอียด ดังแสดงการเปรียบเทียบในภาพที่ 2

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ขนาดคละมวลรวมหยาบ

ขนาดตะแกรงมาตรฐาน (นิ้ว)	น้ำหนักตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักหิน + ตะแกรง (กรัม)	น้ำหนักที่ค้างอยู่บนตะแกรง (กรัม)	ร้อยละที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรง	ร้อยละที่ผ่านตะแกรง
1	1708.9	1709.1	0.2	0.0192	0.0192	99.9808
0.75	1623.1	1736.8	113.7	10.901	10.920	89.080
0.5	1692.2	2201.9	509.7	48.869	59.789	40.211
0.375	1722.2	1918.5	196.3	18.821	78.610	21.390
0.187	1584.5	1786	201.5	19.319	97.929	2.071
ถาด	1048.3	1069.9	21.6	2.071	100.000	0
รวม	9379.2	10422.2	1043	100.000	FM=2.473	



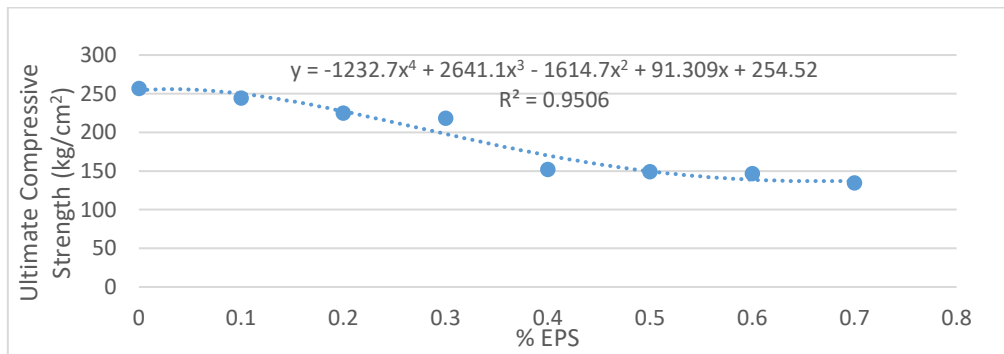
ภาพที่ 2 การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดในแต่ละสัปดาห์ของอิฐอิฐโฟมในคอนกรีตตัวอย่างที่อายุบ่ม 7 14 28 วัน

จากภาพที่ 2 พบว่าคอนกรีตที่ผสมอิฐอิฐโฟมในสัดส่วนเพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อค่าการรับกำลังอัดที่ลดลง เมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติที่ไม่มีส่วนผสมของอิฐอิฐโฟม สัดส่วนของอิฐอิฐโฟมในคอนกรีตที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดจะมีค่าการรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งถือเป็นค่าต่ำสุดในการออกแบบโครงสร้างอาคารเพื่อการรับน้ำหนัก และความสามารถในการเทหรือสลิ้มมีค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 5-6 เซนติเมตร สัดส่วนผสมของอิฐอิฐโฟมในคอนกรีตที่มากกว่าร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดจะมีค่าการรับกำลังอัดที่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งไม่เหมาะสมในการใช้ออกแบบโครงสร้างที่ต้องมีการรับน้ำหนักแต่อาจสามารถใช้ออกแบบในส่วนงานก่อสร้างที่ไม่ต้องการการรับน้ำหนักมากนัก อาทิ งานทางเดินเท้า งานรั้วรอบอาคาร งานคอนกรีตหยาบพื้นฐาน เป็นต้น และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการรับกำลังอัดที่

อายุการบ่ม 28 วันของคอนกรีตกับสัดส่วนผสมของอิฐอิฐโฟมที่ใช้แล้ว สามารถแสดงได้ในภาพที่ 3 พบว่ามีความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์แบบสมการพหุนามดังแสดงในสมการที่ 1 และจากการวิเคราะห์สมการพบว่าสัดส่วนผสมของอิฐอิฐโฟมในคอนกรีตมากที่สุดที่ทำให้คอนกรีตมีค่าการรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยการแทนค่าเพื่อแก้สมการพหุนาม คือ ร้อยละ 0.293 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียด ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอิฐอิฐโฟมที่ใช้แล้วมีค่าลดลงตามสัดส่วนผสมของอิฐอิฐโฟมที่เพิ่มมากขึ้นและส่งผลต่อน้ำหนักของคอนกรีตที่ลดลง สัดส่วนผสมของอิฐอิฐโฟมที่เหมาะสมสำหรับงานก่อสร้างอยู่ในระดับไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดและค่าความสามารถรับกำลังอัดไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอิฐอิฐโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติลดลงที่ระดับร้อยละ 2.3 5.7 และ 6.1 สำหรับสัดส่วนผสมอิฐอิฐ

สโม่ระดับร้อยละ 0.1 0.2 และ 0.3 ตามลำดับ น้ำหนักของคอนกรีตผสมอีพีสโม่ที่ลดลงจะสามารถลดค่าน้ำหนักบรรทุกตาย (Dead Load) สำหรับการออกแบบอาคาร และส่งผลต่อการลดขนาดของโครงสร้างอาคาร และประหยัดต้นทุนของวัสดุก่อสร้าง ตัวอย่างการใช้คอนกรีตผสมอีพีสโม่สำหรับงานพื้นหลังคาอาคาร

อาคารซึ่งสามารถช่วยลดน้ำหนักบรรทุกตายของคอนกรีตที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างอาคาร ทั้งในส่วนการออกแบบขนาดเสาและฐานรากที่รองรับ ส่งผลต่อขนาดฐานรากและเสาที่รองรับสามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กได้จึงส่งผลต่อต้นทุนวัสดุก่อสร้างที่ลดลง



ภาพที่ 3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างค่ากำลังอัดของคอนกรีตกับสัดส่วนผสมของอีพีสโม่ที่ใช้แล้ว

$$y = -1232.7x^4 + 2641.1x^3 - 1614.7x^2 + 91.309x + 254.52 \quad (1)$$

โดย

y คือ ค่าการรับกำลังอัดของคอนกรีต (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

x คือ สัดส่วนผสมของอีพีสโม่ที่ใช้แล้วเทียบกับน้ำหนักมวลรวมละเอียด (ร้อยละ)

R^2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (0.9506 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1.00)

3. ลักษณะการเสียหายของคอนกรีตที่ผสมอีพีสโม่ที่ใช้แล้ว

ลักษณะการเสียหายของคอนกรีตตัวอย่างจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีต

แบบปกติและคอนกรีตที่ผสมอีพีสโม่ ดังแสดงในภาพที่ 4 การเสียรูปทรงของตัวอย่างคอนกรีตแบบปกติจะมีลักษณะแตกเป็นแนวตั้งฉากเป็นชิ้น และตัวอย่างคอนกรีตที่ผสมอีพีสโม่มีลักษณะแตกออกเป็นแนวเส้นตรงตั้งฉาก เกิดขึ้นบริเวณแนวกลางและด้านข้าง ในสัดส่วนอีพีสโม่ที่ระดับร้อยละ 0.1-0.3 มีลักษณะการแตกเสียหายที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตแบบปกติ สัดส่วนผสมของอีพีสโม่ที่เพิ่มมากขึ้น (ร้อยละ 0.4-0.7) จะทำให้ลักษณะการเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตแตกเป็นแนวตรงตั้งฉากที่เพิ่มมากขึ้นและเริ่มมีการแตกในแนวกลางด้านในของตัวอย่างคอนกรีต ในภาพรวมการแตกเสียหายของคอนกรีตที่ผสมอีพีสโม่ไม่มีความแตกต่างมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบความเสียหายของตัวอย่างคอนกรีตแบบปกติกับคอนกรีตที่ผสมอีพีสโม่

4. การประเมินต้นทุนและการลดปริมาณ CO₂ ที่ปลดปล่อยของคอนกรีตผสมอิพีสโม่ที่ใช้แล้ว

การอ้างอิงของ Tan and Khoo (2005) อธิบายผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมจากการกำจัดขยะอิพีสโม่จากการนำไปฝังและการเผาและปลดปล่อยก๊าซ CO₂ จากการฝังกลบของขยะอิพีสโม่โดยประมาณเท่ากับ 0.051 และ 0.028 กิโลกรัมต่อขยะอิพีสโม่ 1 กิโลกรัม สำหรับการฝังกลบและการเผาขยะอิพีสโม่ตามลำดับ ดังนั้นค่าเฉลี่ยของค่าปริมาณ CO₂ ที่ปลดปล่อยจากการกำจัดขยะอิพีสโม่ของทั้ง 2 วิธีนี้ เท่ากับ 0.04 กิโลกรัมต่อขยะอิพีสโม่ 1 กิโลกรัม ตัวอย่างการคำนวณปริมาณ CO₂ คอนกรีตที่ผสมอิพีสโม่ในอัตราส่วนร้อยละ 0.7 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียด มีปริมาณ CO₂ (0.04*4.368) เท่ากับ 0.17 กิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร การกำจัดขยะอิพีสโม่ขั้นพื้นฐานในระดับพื้นที่ชุมชนอ้างอิงข้อมูลของสำนักสิ่งแวดล้อมกรุงเทพมหานคร (สำนักงานสิ่งแวดล้อม, 2564) ได้กำหนดอัตราค่าเก็บขนและกำจัดขยะโดยรวมมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 600 บาทต่อลูกบาศก์เมตรต่อครั้ง ความหนาแน่นของขยะอิพีสโม่เฉลี่ยเท่ากับ 19 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การคำนวณต้นทุนของคอนกรีตที่ผสมอิพีสโม่ที่ใช้แล้วแสดงในตารางที่ 4 พบว่า คอนกรีตที่ผสมอิพีสโม่

สโม่ในอัตราส่วน 0.1 % ต่อน้ำหนักมวลรวมละเอียดซึ่งมีความสามารถในการรับน้ำหนักได้มากที่สุดคือ 244.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีต้นทุนคือ 2,019 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (คำนวณต้นทุนเฉพาะวัสดุไม่รวมค่าแรงงาน) และแนวโน้มต้นทุนคอนกรีตจะลดลงตามสัดส่วนอิพีสโม่ที่ผสมเพิ่มมากขึ้น การใช้งานคอนกรีตที่ผสมอิพีสโม่ที่ใช้แล้ว เมื่อพิจารณาจากกำลังรับแรงอัดที่ทดสอบได้นั้นควรเลือกใช้ใช้งานคอนกรีตที่ผสมอิพีสโม่ในอัตราส่วนสูงสุดไม่เกิน 0.3 % ของน้ำหนักมวลรวมละเอียด ซึ่งมีค่าเฉลี่ยแรงอัดประมาณ 218.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และมีต้นทุนคอนกรีตประมาณ 1980 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หรือต้นทุนลดลงจากคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณ CO₂ ที่ปลดปล่อยจากการกำจัดขยะอิพีสโม่จากคอนกรีตที่ผสมอิพีสโม่ที่ใช้แล้วมีค่าอยู่ระหว่าง 0.02 ถึง 0.17 กิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร การใช้คอนกรีตที่ผสมอิพีสโม่ที่ใช้แล้วมีความเหมาะสมกับงานก่อสร้างและยังช่วยลดปัญหาการกำจัดขยะอิพีสโม่ทั้งต้นทุนการกำจัดและปริมาณ CO₂

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบสัดส่วนผสมของคอนกรีตที่ผสมอิพีสโม่ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร กับค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัด ต้นทุนเฉลี่ยและการลดปริมาณ CO₂ ที่ปลดปล่อยจากการกำจัดขยะอิพีสโม่

EPS (%)	0%	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
กำลังรับแรงอัด (กก/ตร.ม.)	256.9	244.1	224.8	218.2	151.7	148.9	146.5	134.5
ต้นทุนเฉลี่ยเบื้องต้น (บาท / ลบ.ม.)	2039	2039	2039	2039	2039	2039	2039	2030
ต้นทุนเฉลี่ยกำจัดอิพีสโม่ (บาท)	0	20	39	59	79	99	118	138
ต้นทุนเฉลี่ย (บาท/ลบ.ม.)	2039	2019	2000	1980	1960	1940	1921	1901
ปริมาณ CO ₂ ที่ปลดปล่อยลดลง (กก)	0	0.02	0.05	0.07	0.10	0.12	0.15	0.17

สรุปผลการวิจัย

การทดสอบความสามารถรับกำลังอัดระหว่างคอนกรีตแบบปกติและคอนกรีตที่ผสมอิพีสโม่ที่ใช้แล้วพบว่า คอนกรีตที่ผสมอิพีสโม่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลต่อค่าการรับกำลังอัดที่ลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ สัดส่วนอิพีสโม่ที่เหมาะสม คือ ไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดจะมีค่ากำลังรับแรงอัดประมาณ 218 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งเหมาะสมในการออกแบบ

โครงสร้างอาคาร ความสามารถในการเพิ่มค่าเฉลี่ยอยู่ประมาณ 5-6 เซนติเมตร สัดส่วนผสมของอิพีสโม่ในคอนกรีตที่มากกว่าร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดจะมีค่าการรับกำลังอัดที่ต่ำกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรซึ่งไม่เหมาะสมกับการออกแบบโครงสร้าง ความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ระหว่างการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตกับสัดส่วนผสมของอิพีสโม่ที่ใช้แล้วมีความน่าเชื่อถือและสามารถใช้ทำนายค่าการรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมอิพีสโม่ที่ใช้แล้ว ความ

หนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วมีค่าที่ลดลงตามสัดส่วนผสมของอีพีเอสโฟมที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลต่อน้ำหนักของคอนกรีตที่ลดลง และเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติที่ระดับร้อยละ 2.3 5.7 และ 6.1 สำหรับสัดส่วนผสมอีพีเอสโฟมระดับร้อยละ 0.1 0.2 และ 0.3 ตามลำดับ ลักษณะความเสียหายโดยภาพรวม แสดงให้เห็นว่า การแตกเสียหายของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมไม่มีความแตกต่างมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตแบบปกติ ต้นทุนคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วซึ่งหักลดต้นทุนการกำจัดขยะอีพีเอสโฟมในสัดส่วนที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียด มีต้นทุนของคอนกรีตประมาณ 1980 บาทต่อลูกบาศก์เมตร หรือต้นทุนลดลงจากคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 3 ปริมาณ CO₂ ที่ปลดปล่อยจากการกำจัดขยะอีพีเอสโฟมสำหรับคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วมีค่าอยู่ที่ระดับ 0.02 ถึง 0.17 กิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

อภิปรายผล

สัดส่วนของอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วสำหรับผสมในคอนกรีตที่เหมาะสมทั้งในส่วนการทดสอบและการวิเคราะห์จากสมการพหุนาม คือ สัดส่วนไม่เกินร้อยละ 0.3 ของน้ำหนักมวลรวมละเอียดเนื่องจากความสามารถรับแรงอัดยังมีค่าเฉลี่ยไม่น้อยกว่า 200 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและมีความเหมาะสมสำหรับงานออกแบบโครงสร้างทั่วไป ความหนาแน่นของคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมเมื่อเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของคอนกรีตปกติมีอัตราที่ลดลงระหว่างร้อยละ 2 ถึง 6 ซึ่งส่งผลต่อน้ำหนักของคอนกรีตที่ลดลงและสามารถช่วยลดค่าน้ำหนักบรรทุกตาย (Dead Load) สำหรับการออกแบบอาคาร ส่งผลต่อขนาดของโครงสร้างอาคารที่เล็กลงและประหยัดต้นทุนของวัสดุก่อสร้าง ตัวอย่างการเลือกใช้คอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมก่อสร้างพื้นหลังคาตาดฟ้าอาคารช่วยลดน้ำหนักบรรทุกตายของคอนกรีตส่งผลต่อการออกแบบโครงสร้างหลักของอาคารที่มีขนาดเล็กลงและลดต้นทุนวัสดุก่อสร้าง รวมทั้งการเป็นฉนวนกันความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ การศึกษาความเป็นฉนวนกันความร้อนของอิฐบล็อกและปูนฉาบโดยการผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว (จรัสรัตน์โชตินันท์, 2564) ต้นทุนคอนกรีตผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วประมาณ 1980 บาทต่อลูกบาศก์เมตรสำหรับสัดส่วนอีพีเอสโฟมร้อยละ 0.3 และอัตราต้นทุนที่ลดลงเทียบกับคอนกรีตแบบปกติประมาณร้อยละ 3 ปริมาณ CO₂ ที่ปลดปล่อยจากขั้นตอนการกำจัดขยะอีพีเอสโฟมสำหรับ

คอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วสามารถลดลงได้อยู่ที่ระดับ 0.02 ถึง 0.17 กิโลกรัมต่อคอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ดังนั้นการใช้คอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วมีความเหมาะสมกับงานก่อสร้างที่ต้องการคอนกรีตต้นทุนต่ำและการแก้ไขปัญหาการกำจัดขยะโฟมโดยสามารถลดปริมาณ CO₂

ข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนการผสมคอนกรีตที่ผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว ไม่ควรเทอีพีเอสโฟมลงไปทั้งหมดเนื่องจากจะทำให้โฟมจับตัวเป็นกลุ่มไม่เกิดการกระจายตัวในเนื้อคอนกรีต ดังนั้นจึงควรใส่ลงไปทีละส่วนเพื่อการกระจายตัวอย่างทั่วถึง การใส่น้ำเป็นส่วนผสมในคอนกรีตโดยปริมาณน้ำที่เทลงไปควรใส่ทีละน้อยเพื่อความง่ายต่อการผสม และการวิจัยในอนาคตควรมีการทดสอบสัดส่วนผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้วในคอนกรีตโดยการทดแทนมวลรวมละเอียดและความเป็นไปได้การรับแรงอัดที่เหมาะสมสำหรับงานออกแบบโครงสร้าง รวมทั้งการลดต้นทุนคอนกรีตที่ดีขึ้นเนื่องปริมาณมวลรวมละเอียดที่ลดลงโดยการทดแทนของอีพีเอสโฟม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยงบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2565 ของมหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2561). มาเรียนรู้เรื่องพลาสติกและโฟมเพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม. เอกสารเผยแพร่, กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 29 หน้า.
- จรัสรัตน์โชตินันท์. (2563). การศึกษาประสิทธิภาพของคอนกรีตที่ผสมขวดน้ำพลาสติกใช้แล้ว. *วารสารวิชาการ EAU Heritage*, ปีที่14, ฉบับที่3 กันยายน-ธันวาคม 2563, มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย, น.115-126.
- จรัสรัตน์โชตินันท์, กฤษ คำคุณธรรม, ไชยพันธ์ รัตนโชตินันท์, มนพัทธ สารสิทธิ์, เสาวรส หะสิทธิ์ และขวัญจิรา สอนระวัตร. (2564). การศึกษาความเป็นฉนวนกันความร้อนของอิฐบล็อกและปูนฉาบโดยการผสมอีพีเอสโฟมที่ใช้แล้ว. *การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ*

- วิทยาศาสตร์ วิศวกรรมศาสตร์ เกษตรศาสตร์ และเทคโนโลยี ครั้งที่ 1, ในวันที่ 23 สิงหาคม 2564, มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. น.582-592.
- รมย์ธีรา จิตอารย์ และ มงคล นามลักษณ์. (2562). อิทธิพลของขนาดเม็ดโฟมโพลีสไตรีนต่อคุณภาพของคอนกรีตมวลเบา. *วารสารวิจัยและนวัตกรรม การอาชีวศึกษา*, 3(1), มกราคม-มิถุนายน 2562, น.11-18.
- สมบูรณ์ คงสมศักดิ์ศิริ. (2006). การใช้เศษโฟมมาทำวัสดุผสมหยาบมวลเบาในงานคอนกรีต. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม*, ปีที่ 2 ฉบับที่ 1, กุมภาพันธ์- กรกฎาคม 2549, น.65-69.
- สำนักงานชลประทานที่ 14. (2562). มถ. 101-2550 มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก กรมชลประทาน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สืบค้นเมื่อวันที่ 20 กันยายน 2565, จาก <http://irrigation.rid.go.th/rid14/water/library/shelf/formu/page/Transport/DRR/files/103.pdf>
- สำนักงานสิ่งแวดล้อม. (2564). คู่มือแนวทางการจัดเก็บค่าธรรมเนียมการจัดการสิ่งปฏิกูลและมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร. สำนักงานสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพมหานคร. 45 หน้า.
- อุทัยฤทธิ์ โจนวิภาต. (2560). Concrete Laboratory. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ศูนย์ผลิตตำราเรียนมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 144 หน้า
- Bechki, D., Bouguettaia, H., Nadir, N. & Boughali, S. (2019). Use of a new agricultural product as thermal insulation for solarCollector. *Renewable Energy* 134, pp. 569-578.
- Bjegovic, D., Milic`evic, I. & Siddique, R. (2015). Experimental research of concrete floor blocks with crushed bricksand tiles aggregate. *Construction and Building Materials*, 94, pp. 775-778.
- Guo, Z., Tu, A., Chen, Chen. & Lehman, D.E. (2018). Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates. *Journal of Cleaner Production*, 139, pp. 136-149.
- Ling, T.C., Mo, K.H. & Meng, Y. (2018). Recycling of wastes for value-added applications in concrete blocks: An Overview. *Resources Conservation & Recycling*, 138, pp. 298-312.
- Ratanachotinun, J. & Pairojn, P. (2020). Assessment of the Feasibility of Autoclaved Aerated Concrete with Perforation in Thailand. *Journal of Applied Science and Engineering*, 23(2), pp. 249-259.
- Tan, R.B.H. & Khoo, H.H. (2005). Life cycle assessment of EPS and CPB inserts: design considerations and end of life scenarios. *Journal of Environmental Management*, 74, pp. 195-205.
- Wang, X., Liu, L., Zhou, H., Song, T., Qiao, O. & Zhang, H. (2021). Improving the compressive performance of foam concrete with ceramsite: Experimental and meso-scale numerical investigation. *Materials & Design*, 208, pp. 1-23.
- Zhan, B.J., Shi, C.J., Poon C.S. & Xuan, D.X. (2016). Effect of curing parameters on CO2 curing of concrete blocks containing recycled aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 71, pp. 122-130.